Ewa Kamińska
Anna Skarbek-Żabkin
Instytut Transportu Samochodowego

ANALIZY EKOBILANSOWE W SZACOWANIU OBCIĄŻEŃ ŚRODOWISKA

W artykule przedstawiono wyniki analizy ekobilansowej przeprowadzonej dla technologii recyklingu zużytych akumulatorów kwasowo-ołowiowych. Badania zostały wykonane w oparciu o dane pochodzące z 2009 roku. Do przeprowadzenia analizy wykorzystano metodę cyklu życia produktu *(ang. Life Cycle Assessment)*. Narzędziem, którym posługiwano się w celu przeprowadzenia oceny cyklu życia (LCiA), jest program holenderskiej firmy PreConsultant, Jest to program SimaPro v. 7.3.3., który jest obecnie wykorzystywany jako narzędzie do przeprowadzania analiz cyklu życia obiektów w około 80 krajach.
W artykule przestawiono wyniki szacowania poziomu obciążeń środowiska związanych z technologią recyklingu zużytych akumulatorów kwasowo-ołowiowych w kraju, przy uwzględnieniu istniejących uwarunkowań oraz dostępnych informacji. Analiza została przeprowadzona metodą ReCiPe, której baza danych obejmuje informacje charakterystyczne dla warunków europejskich.

ECO-BALANCE ANALYSIS IN ESTIMATING ENVIRONMENTAL BURDENS

The article presents the results of the eco-balance analysis carried out for the recycling technology of the disused lead-acid batteries. The studies have been conducted based on the data from the 2009. For the purpose of the analysis the product life cycle method (Life Cycle Assessment). The tool that was used for the Life Cycle Assessment (LCA) is a SimaPro v. 7.3.3. program of the Dutch company - PreConsultant, which is currently used as a tool for the analysis of the products life cycle in about 80 countries.
The paper presents the results of estimating the level of environmental burdens associated with the technology of recycling disused lead-acid batteries in Poland, taking into account the current circumstances and available information. The analysis was conducted using ReCiPe method, whose database includes information specific to the European context.

1. Wprowadzenie

Przeprowadzenie analizy ekobilansowej ma na celu uzyskanie informacji na temat kompleksowego oddziaływania obiektu na środowisko, z uwzględnieniem jego słabych stron, wnikliwą ocenę i ustaleniem środków zaradczych dla trwałego zmniejszenia obciążenia środowiska [3]. Analizy mogą być przeprowadzane przy wykorzystaniu wielu metod służących do oszacowania potencjalnych obciążeń środowiska.

W artykule opisano wyniki analizy przeprowadzonej z uwzględnieniem wymagań metody Cyklu Życia Produktu (ang. *Life Cycle Assessment - LCA).* Wybrana metoda umożliwia określenie wszystkich znaczących emisji, zużytych środków produkcji, wpływu na środowisko i zdrowie ludzkie oraz wyczerpywanie zasobów naturalnych dla określonego obiektu, w przyjętych granicach systemu [14]. Poziom wpływu recyklingu na środowisko został oszacowany przy wykorzystaniu oprogramowania SimaPro 7.3.3. holenderskiej firmy *PreConsutlant*. Jest to program wykorzystujący do analiz metodykę LCA. Ma wbudowanych szereg metod wykorzystywanych do przeprowadzania trzeciego etapu LCA – oceny cyklu życia (LCiA). Analizowana technologia została zbadana przy pomocy metody – ReCiPe. Metoda wykorzystuje do obliczeń informacje charakterystyczne dla warunków europejskich.

2. Metoda cyklu życia produktu (LCA)

2.1. Etapy analizy ekobilansowej

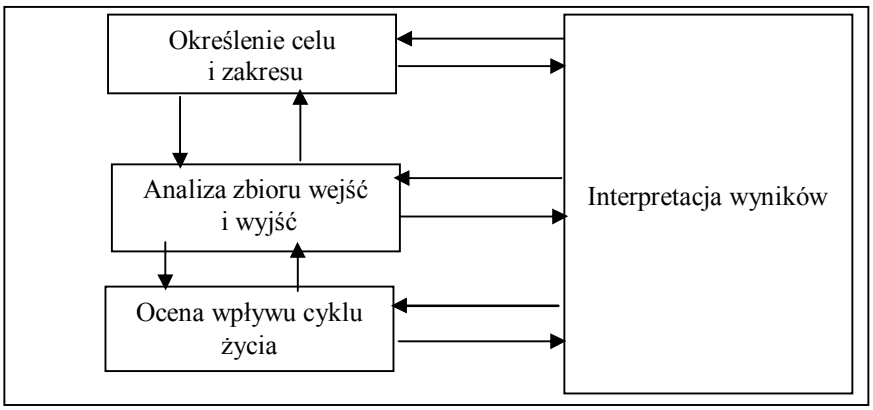
Ekobilansowanie jest to wieloaspektowa metoda analizy cyklu istnienia obiektów, która zawiera własny model obliczeniowy, a do przeprowadzenia obliczeń wykorzystywane są aplikacje komputerowe [7].

Cykl życia produktu *(ang. LCA)* jest metodą iteracyjną, co powoduje, że w kolejnych etapach analizy wykorzystywane są wyniki innych faz badań.

Według norm ISO metodyka badań LCA obejmuje cztery fazy:

1. określenie celu i zakresu (*Goal and Scope definition*),
2. analizę zbioru wejść i wyjść (*Life Cycle Inventory Analysis* – LCIA),
3. ocenę wpływu cyklu życia (*Life Cycle Impact Assessment* – LCiA),
4. interpretację (*Life Cycle Interpretation*) [10].

Na rysunku 1 przedstawiono kolejne etapy przeprowadzania analizy ekobilansowej.



Rys. 1. Fazy LCA [10]
Fig. 1. LCA stages [10]

Metoda cyklu życia produktu (LCA) ma na celu identyfikację i ocenę emisji szkodliwych substancji. Ponadto umożliwia określenie poziomu zużycia energii i materiałów we wszystkich etapach cyklu istnienia badanego obiektu - na etapie projektowania, produkcji, eksploatacji i likwidacji (np. recyklingu) [5].

Określenie celu i zakresu analizy

Definicję celu badań analizy LCA zawarto w normie PN–EN ISO 14040:2009 [10]. Cel badań powinien określać jakie będzie zastosowanie wyników analizy, z jakiego powodu prowadzone będą badania oraz kto będzie ich odbiorcą [8].

Decyzja odnośnie stopnia szczegółowości analiz podejmowana jest ze względu na adresata analiz. Istnieją trzy podstawowe warianty przeprowadzenia badania LCA:

- **koncepcyjny** (*screening LCA*) – jest wykorzystywany w granicach jednego podmiotu w sytuacjach, kiedy w ocenie istotny jest krótki czas przeznaczony na przeprowadzenie analizy. Wykorzystywane dane są szacunkowymi danymi wtórnymi, pochodzą z istniejących baz danych lub opracowań statystycznych. W wariancie koncepcyjnym LCA zalecane jest przeprowadzenie analizy wrażliwości, mającej na celu sprawdzenie rzeczywistego oddziaływania otrzymanych wyników na najistotniejsze problemy analizy,
- **uproszczony** (*simplified LCA*) – jest wykorzystywany w analizach procesów decyzyjnych, w aspekcie rozwoju produktu i strategii komunikacji. Wykorzystywane dane pochodzą z istniejących baz danych, powinny być jednak uzupełniane o aktualne dane literaturowe, dane pierwotne, pochodzące od podmiotów związanych z profilem analizowanych zagadnień (dostawców, producentów, z wywiadów i pomiarów). Niezbędne jest wykonanie analizy wrażliwości, mające na celu potencjalne korygowanie istotnych założeń,
- **szczegółowy** (*detailed LCA*) – wykorzystywany jest w celu wykonania pełnych badań oceny cyklu życia wyrobu, do badań porównawczych pomiędzy wyrobami. Stosowane dane są szczegółowe, pierwotne, pochodzą z bezpośrednich pomiarów, analiz, wywiadów. Według norm ISO serii 14040 do procesu oceny powinno włączyć się, na każdym etapie, niezależnego recenzenta. Niezbędny jest opis wszystkich procedur, uzasadnień wyborów, niekompletności danych oraz przeprowadzenie pełnej analizy wrażliwości [1, 2, 8,10].

W pierwszym etapie LCA należy również zdefiniować system wyrobu, który według normy PN–EN ISO 14040:2009 jest określany jako *„zbiór materiałowo i energetycznie połączonych procesów jednostkowych, które spełniają jedną lub więcej określonych funkcji”* [10]. W tabeli 1 wymieniono, jakie elementy powinien zawierać poprawnie zdefiniowany proces jednostkowy.

Tabela 1
Elementy niezbędne do prawidłowego określenia procesu jednostkowego[11]
Table 1
The elements necessary for the proper determination of unit process

Lp.	Elementy procesu jednostkowego	Charakterystyka
1.	podstawowe strumienie wejściowe	woda, ropa naftowa w ziemi
2.	podstawowe strumienie wyjściowe	np. emisje do powietrza, ziemi, wody
3.	strumienie wyrobów pośrednich	strumienie surowców np. pasta ołowiowa, węgiel
4.	strumienie wyrobów	np. energia elektryczna, ołów surowy
5.	początek procesu jednostkowego	miejsce przyjęcia surowca lub wyrobu pośredniego
6.	rodzaj przemian oraz operacji	przemiany i operacje zachodzące w ramach rozpatrywanego procesu jednostkowego
7.	koniec procesu jednostkowego	miejsce odbioru wyrobu lub wyrobu pośredniego

Kolejnym elementem niezbędnym do określenia w tej fazie LCA jest wybór granicy systemu wyrobu. Według normy PN-EN ISO 14044, granica systemu zdefiniowana jest jako obszar styku pomiędzy systemem wyrobu i środowiskiem lub systemami innych wyrobów. Określenie obszaru analiz wynika z dokonania wyboru odnośnie przedziału czasowego, obszaru geograficznego, technologicznego oraz typu gromadzonych danych. Należy również wybrać, które procesy jednostkowe znajdują się w granicach analizowanego obszaru. W pierwszej fazie LCA określana jest również jednostka funkcjonalna, zdefiniowana w normie PN-EN ISO 14050:2010 jako *„ilościowy efekt systemu wyrobu stosowany jako jednostka odniesienia w badaniach LCA”* [12]. Powinna ona obrazować jakościowe i ilościowe funkcje wyrobu oraz być punktem odniesienia dla wszystkich danych wejściowych oraz wyjściowych systemu [9].

Faza analizy zbioru wejść i wyjść – inwentaryzacja danych (LCI)

Faza analizy zbioru wejść i wyjść obejmuje procedury gromadzenia danych oraz procedury obliczeniowe, mające na celu ilościową oceny zbioru danych wejściowych oraz wyjściowych analizowanego procesu.

Istotnym etapem gromadzenia danych jest konieczność sprawdzenia ich kompletności oraz ich walidacja.

Efektem tego etapu jest stworzenie katalogu wykorzystywanych materiałów, energii i generowanych emisji oraz wszystkich odpadów. Dane gromadzone są dla każdego wyszczególnionego w systemie wyrobu procesu jednostkowego. System wyrobu oznacza zbiór materiałowo i energetycznie połączonych procesów jednostkowych, spełniających jedną lub więcej określonych funkcji. Z kolei proces jednostkowy to najmniejsza część systemu wyrobu, dla której gromadzone są dane w celu przeprowadzenia analizy cyklu życia. Wykaz danych dotyczących wybranych procesów jednostkowych, przedstawiony w formie tablic inwentarzowych, daje możliwość odniesienia wyników analizy LCI do różnych kategorii wpływu.

Faza oceny wpływu – ocena oddziaływań (LCIA)

Celem trzeciej fazy LCA jest określenie potencjalnego wpływu na środowisko wybranego procesu jednostkowego, systemu wyrobu czy strumienia materiałów oraz dostarczenie dodatkowych informacji pomocnych w ocenie wyników LCI w celu lepszego zrozumienia ich znaczenia środowiskowego [10].

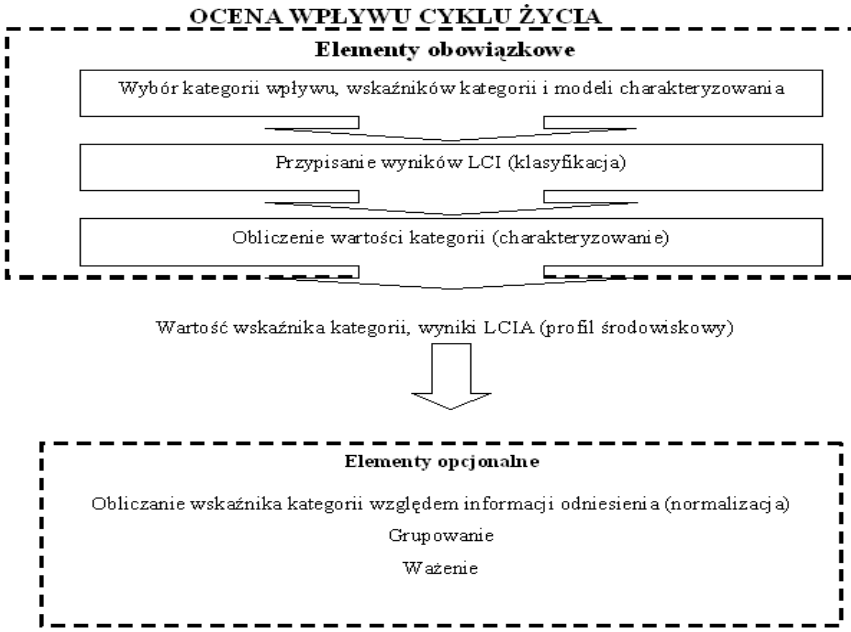
Aby wyniki LCI można było przekształcić we „wskaźniki kategorii" w celu uzyskania wartości wskaźnika dla poszczególnych kategorii wpływu, należy przeprowadzić działania polegające na:

- wyborze kategorii wpływu, wskaźników kategorii oraz modeli charakteryzowania,
- klasyfikacji tj. przypisania wyników LCI kategoriom wpływu,
- charakteryzowaniu, oznaczającemu obliczenie wartości wskaźnika kategorii.

Efektem powyższych obliczeń jest tak zwany profil środowiskowy, który następnie może być poddawany dalszym analizom opcjonalnym, tj. normalizacji, grupowaniu, ważeniu, analizie jakości danych [8].

Na tym etapie LCA można wykorzystać różne procedury obliczeniowe. W niniejszej pracy do oceny wpływów technologii recyklingu zużytych akumulatorów kwasowo-ołowiowych wykorzystano metodę ReCiPe.

Celem tego etapu jest wyznaczenie potencjalnych negatywnych wpływów na środowisko. Do przeprowadzenia LCIA wykorzystywane są dane ze zbioru wejść i wyjść dla poszczególnych procesów technologii recyklingu. Faza obejmuje przyporządkowanie danych wejściowych i wyjść dla kategorii wpływu na środowisko oraz wskaźników kategorii. Ta procedura ma na celu identyfikację tych wpływów. LCIA technologii recyklingu, jak wcześniej wspomniano, została określona metodą ReCiPe. Wyróżnia się w niej 18 kategorii wpływu, dla przejrzystości wyników w niniejszej pracy pogrupowanych w trzynaście kategorii. Ocena wpływu cyklu życia dostarcza informacji dla fazy ostatniej LCA - interpretacji cyklu życia. Elementy oceny wpływu cyklu życia, obowiązkowe i opcjonalne, przedstawiono na rysunku 2. Elementy obowiązkowe zostaną wykonane za pomocą programu SimaPro 7.3.3.



Rys. 2. Elementy fazy LCIA [10]
Fig. 2. Elements of the LCIA [10]

Elementów opcjonalnych analizy wpływu cyklu życia nie należy przeprowadzać w badaniach publicznie dostępnych.

Wykorzystanie normalizacji umożliwia obliczenie wartości wskaźnika kategorii względem informacji odniesienia, co umożliwia uzyskanie ewentualnych wpływów środowiskowych różnych kategorii w formie wspólnej bezwymiarowej wartości. To umożliwia porównanie kategorii wpływu między sobą.

Interpretacja cyklu życia

Jest to ostatni etap LCA, w którym we wzajemnym powiązaniu poddawane są analizie wyniki LCI oraz wyniki oceny wpływu LCIA. Celem interpretacji cyklu życia jest, oprócz analizy wyników, formułowanie wniosków, wyjaśnienie ograniczeń oraz dostarczenie zaleceń wynikających z ustaleń poczynionych w poprzednich fazach LCA [3]. W normach ISO zawarto zalecenia, by w fazie interpretacji dostarczyć wyniki spójne z celem i zakresem analizy. Ponadto powinny być zawarte informacje na temat ograniczeń i sformułowane zalecenia.

Głównym celem etapu interpretacji jest przegląd oraz rozważanie wyników. Również należy sprawdzić ich kompletność, spójność oraz możliwość wykorzystania w odniesieniu do założonego celu i zakresu przeprowadzonej analizy.

2.2. Wymagania odnośnie danych wykorzystywanych podczas analizy ekobilansowej

Według normy ISO 14040 dla analiz porównawczych dostępnych publicznie należy określić, jakie wymagania powinny spełniać dane, wykorzystywane do przeprowadzenia analizy metodą LCA.

Tabela 2

Parametry dotyczące jakości danych [13]

Table 2

Parameters relating to data quality [13]

Lp.	Parametry dotyczące jakości danych	Zastosowanie
1.	przedział czasowy danych	dane rzeczywiste powinny pochodzić z okresu realizacji analizy; dopuszczalne są kilkuletnie odchylenia dla danych pochodzących z literatury
2.	obszar geograficzny	dane powinny pochodzić z badań przeprowadzonych na terenie Polski; w niektórych przypadkach (np. środków transportu) dane dotyczą obszaru Europy
3.	obszar technologiczny	dane dotyczące procesów technologicznych powinny pochodzić z badań prowadzonych w ramach omawianej pracy; w przypadku technologii i procesów, które nie zostały uwzględnione w pracy, dopuszcza się skorzystanie z danych pochodzących z literatury
4.	precyzja	dane powinny być w jak najwyższym stopniu precyzyjne
5.	kompletność	dane powinny być kompletne i dokładne
6.	reprezentatywność	dane powinny charakteryzować się wysokim stopniem reprezentatywności
7.	spójność	dane powinny pochodzić z badań opracowanych w ramach niniejszej pracy
8.	odtwarzalność	dane powinny pochodzić z odpowiednio udokumentowanych badań, w celu ewentualnego ich odtworzenia oraz weryfikacji
9.	źródło danych	źródłem danych powinny być badania przeprowadzone w ramach pracy; w niektórych przypadkach możliwe jest wykorzystanie danych literaturowych, danych dostępnych w istniejących bazach danych (np. z programu SimaPro)
10.	niepewność	dane powinny charakteryzować się możliwie najmniejszym stopniem niepewności

Jakość danych, wykorzystywana w trakcie wykonywania ekobilansowania, określana jest na podstawie takich parametrów, jak:

- przedział czasowy, obszar geograficzny i technologiczny,
- precyzja danych oraz ich kompletność,
- reprezentatywność, zgodność, powtarzalność,
- niepewność oraz pochodzenie źródła danych.

W tabeli 2 przedstawiono parametry dotyczące jakości danych scharakteryzowane w normach oraz określono wymagania dla danych wejściowych w odniesieniu do przeprowadzenia oceny cyklu życia w granicach realizowanej pracy.

2.3. Narzędzia służące do przeprowadzania analizy ekobilansowej

W celu oszacowania potencjalnego wpływu recyklingu zużytych akumulatorów kwasowo-ołowiowych wykorzystano oprogramowanie SimaPro v. 7.3.3. autorstwa holenderskiej firmy PRé Consultants, służące do przeprowadzania analiz LCA. Narzędzie to wykorzystuje 17 metod dla określania wpływu wyrobów na środowisko. Do najpopularniejszych metod charakterystycznych dla warunków europejskich, należą: CML 2 Baseline 2000 i 2001 r., Eco-indicator 99 *(Ekowskaźnik99)*, IMPACT 2002+, ReCiPe. Wszystkie metody mogą być edytowane oraz rozszerzane.

W oprogramowaniu SimaPro 7.3.3. wykorzystywana jest metoda ekowskaźnika, bazująca na ocenie szkód generowanych do środowiska poprzez oddziaływanie konkretnego procesu lub wyrobu. Ocena szkód jest przeprowadzana na podstawie oszacowania obciążeń przypisanych do wybranych kategorii oddziaływań. W analizie przeprowadzonej metodą ReCiPe oszacowano wpływ obiektu na trzy grupy oddziaływań, tj. zdrowie ludzkie, jakość ekosystemu oraz wyczerpywanie zasobów.

Typowe ekowskaźniki są wyznaczone dla materiałów, procesów produkcyjnych, procesów transportowych, procesów energetycznych, procesów zagospodarowania odpadów [4].

W toku przeprowadzania obliczeń wartości ekowskaźników dla wyodrębnionych procesów, brane są pod uwagę wszystkie ich składowe. Dla procesów produkcyjnych uwzględniane są emisje pochodzące z samych procesów, jak również emisje związane z wykorzystaniem energii. Wskaźnik dotyczy jednostki wyrobu otrzymanego na skutek zachodzącego procesu, np. $1m^2$ lub 1kg.

Wyniki analiz według niektórych metod mogą być przedstawione w postaci wartości liczbowej *(single scores)* i mieć formę jednego punktu. Według norm ISO serii 14040 nie należy w taki sposób przedstawiać wyników, które będą dostępne publicznie. W niniejszej pracy wyniki analiz będą przedstawione zarówno w formie wskaźników, które będą scharakteryzowane dla każdej kategorii wpływu osobno jak również w postaci wartości liczbowej.

Dokonując wyboru metody oceny wpływu cyklu życia wzięto pod uwagę przede wszystkim metody, które uwzględniają długi horyzont czasowy, co skutkuje położeniem większego nacisku na substancje pozostające w środowisku naturalnym przez długi okres.

Kolejnym ważnym aspektem uwzględnianym przy dokonywaniu wyboru metody oceny wpływu cyklu życia jest zasięg geograficzny. W omawianej pracy są brane pod uwagę metody dostosowane do warunków europejskich. Niestety oprogramowanie SimaPro 7.3.3. nie ma metod oraz odpowiadających im baz danych charakterystycznych dla warunków polskich.

Metoda, w oparciu o którą przeprowadzoną trzeci etap analizy ekobilansowej – ocenę cyklu życia obiektu – jest to metoda ReCiPe.

Łączy ona rozwiązania charakterystyczne głównie dla metod Ecoindicator99 oraz CML. W tabeli 3 przedstawiono kategorie szkody i wpływu charakterystyczne dla tej właśnie metody.

Tabela 3

Kategorie szkody i wpływu metody ReCiPe

Table 3

Categories of damage and impact of the ReCiPe method

Kategoria szkody	**Jednostka**	**Kategoria wpływu**
zdrowie ludzkie	DALY	promieniowanie jonizujące
		toksyczność dla ludzi
		tworzenie się cząstek stałych
		tworzenie się fotochemicznych utleniaczy
		zmiany klimatu
		zubożenie warstwy ozonowej
jakość ekosystemu	Gatunek/rok	ekotoksyczność dla wód i lądowa
		eutrofizacja
		zagospodarowanie terenu (zajmowanie oraz przekształcanie)
		zakwaszenie
		zmiany klimatu
zużycie zasobów	$	zużycie paliw kopalnych
		zużycie surowców metalicznych

DALY – DisabilityAdjusted Life Years – lata życia dotknięte niepełnosprawnością; gatunek/rok – wymieranie gatunków w okresie roku; $ - wzrost kosztów wynikających z wydobywania zasobów [$]
Źródło: SimaPro7.3.3.

Oddziaływania środowiskowe mogą mieć negatywny wpływ na zdrowie ludzkie zarówno obecnych, jak i przyszłych pokoleń, co uwidacznia się nasileniem zachorowalności, skróceniem średniej długości życia, zwiększeniem liczby osób niepełnosprawnych [6].

Aby obliczyć ilościową wartość szkodliwości oddziaływania środowiskowego na **zdrowie ludzkie** wykorzystano jednostkę DALY *(Disability Adjusted Life Years),* stworzoną na potrzeby WHO oraz Banku Światowego. Ocena oddziaływania na środowisko przy wykorzystaniu tej jednostki pozwala określić je w skali od 0 do 10, przy czym 0 oznacza brak wpływu na zdrowie ludzkie, a wartość 10 oznacza zgon.

Oddziaływania powodujące zmianę **jakości ekosystemu** wyodrębniono jako oddzielną kategorię obciążeń środowiskowych. Ich miarą jest liczba gatunków, które zanikają na określonym obszarze w ciągu roku, na skutek niekorzystnego oddziaływania na środowisko takich czynników, jak: zakwaszenie/eutrofizacja, zagospodarowanie terenu, ekotoksyczność oraz zmiany klimatu.

Szkody wpływające na zużycie **zasobów naturalnych** uwzględnione są jedynie w dwóch kategoriach: zużycie paliw kopalnych oraz zużycie surowców metalicznych. Oceniane są przez wzrost kosztów związanych z wydobywaniem zasobów i wyrażone są w wartości pieniężnej [$].

3. Założenia do przeprowadzenia analizy ekobilansowej procesu recyklingu

Celem przeprowadzenia analizy ekobilansowej jest oszacowanie wpływu na środowisko technologii recyklingu zużytych akumulatorów kwasowo-ołowiowych w oparciu o dane rzeczywiste, dla instalacji pracującej w 2009 roku.

Analizę przeprowadzono przy wykorzystaniu programu SimaPro 7.3.3. Za jednostkę funkcjonalną przyjęto 1Mg przerobionego złomu akumulatorowego.

Analizy przeprowadzono wykorzystując dane średniego rocznego przerobu złomu akumulatorowego oraz średnioroczną produkcję pasty ołowiowej (odpowiednio nieodsiarczonej i odsiarczonej), wykorzystywanej do otrzymywania surowego ołowiu.

Poza granicami sytemu znajduje się transport złomu akumulatorowego do miejsca przetworzenia. Jest to spowodowane brakiem możliwości uzyskania wiarygodnych informacji na temat floty samochodowej oraz przejazdów wykonywanych na rzecz przedsiębiorstwa. Zakres geograficzny analizy kształtuje się od lokalnego do krajowego. Część danych ma charakter miejscowo specyficzny (np. dane dotyczące zużycia surowców i mediów), inne dane mają charakter ogólnokrajowy.

Jako granicę systemu badań przyjęto technologię recyklingu zużytych akumulatorów kwasowo-ołowiowych od momentu ich dostarczenia do zakładu przerobu, do momentu otrzymania przez zakład produktu końcowego w postaci ołowiu surowego. W granicę systemu włączono etapy mechanicznego kruszenia złomu akumulatorowego, odsiarczanie pasty ołowiowej, produkcję siarczanu sodu oraz ołowiu surowego. Ekobilansem objęto również procesy dodatkowe, czyli odzysk polipropylenu oraz składowanie na wysypisku odpadowego polichlorku winylu oraz żużla, będącego odpadem z procesu przetopu pasty ołowiowej.

W przeprowadzanych analizach uwzględniono wpływ na środowisko emisji do powietrza z wymienionych procesów, nie uwzględniono etapu produkcji maszyn i urządzeń, znajdujących się w granicach opisywanego systemu. W granicach systemu znajduje się również proces przetapiania pasty ołowiowej odsiarczonej wraz z dodatkami, tj. pyłami odzyskanymi w przewodach gazowych, koksikiem oraz węglanem sodu. W analizach uwzględniono również poziom zużycia paliwa oraz energii niezbędnej do przeprowadzenia wymienionych procesów.

Produktami procesu przetopu odsiarczonej pasty ołowiowej jest ołów surowy. Głównym odpadem procesu jest żużel transportowany na składowisko odpadów.

W granicach systemu znajdują się wszystkie możliwe do zidentyfikowania materiały oraz przepływ energii, niezbędne do przeprowadzenia recyklingu zużytych akumulatorów kwasowo – ołowiowych. Informacje pochodzą z działającej instalacji. Należy podkreślić, że firma posiada niezbędne zezwolenia środowiskowe, oraz szereg nagród związanych z jej proekologicznymi przedsięwzięciami. Opisywana technologia jest zawarta w BAT *(ang. Best Aviable Technique)* dotyczącym instalacji prowadzących zagospodarowanie metali nieżelaznych w Polsce.

Wyniki analizy zostały przedstawione w Ekopunktach [Pt], które oznaczają stosunek całego obciążenia środowiska w Europie do liczby mieszkańców, pomnożony przez 1000. Oznacza to, że 1000 Pt odpowiada poziomowi rocznego obciążenia środowiska generowanemu przez mieszkańca Europy.

Faza analizy zbioru wejść i wyjść – inwentaryzacja danych

Dane dotyczące przerobu złomu akumulatorowego dla 2009 r. zostały zebrane na podstawie danych firmowych, danych literaturowych, danych szacunkowych oraz danych

zawartych w bazie EcoInvent oprogramowania SimaPro 7.3.3. Jako podstawową wartość przerobu złomu akumulatorowego oraz produkcji ołowiu surowego przyjęto do, wartość średnią z danych firmowych. Analizom poddano średni roczny przerób złomu akumulatorowego w przeciągu 2009 r. Zebrane dane dotyczące wejść dla średniorocznego przerobu złomu akumulatorowego, niezbędne do oceny cyklu życia technologii recyklingu w okresie rocznym, nie będą przedstawione w artykule, ponieważ są danymi rzeczywistymi. W przykładowej tabeli (tabela 4) podano dane szacunkowe, opracowane na podstawie danych rzeczywistych oraz danych dostępnych w literaturze. W tabeli zamieszczono jedynie główne dane wejściowe i wyjściowe badanego systemu, natomiast nie uwzględniono przepływu materiałów wewnątrz zakładu, wody technologicznej, wody socjalno-bytowej oraz wody deszczowej służącej do zraszania, w celu zapobiegania emisji wtórnej. Jedynie, w przypadku, kiedy jest za niski poziom elektrolitu, będącego medium na linii przerobu złomu akumulatorowego, może być on uzupełniany wodą wodociągową. Autorzy szacują, że około 10 % wody jest wykorzystywane w celu chłodzenia palników, nie jest to jednak proces ciągły lecz zmienny, trudny do oszacowania na podstawie otrzymanych informacji.

Tabela 4

Przykładowa tabela inwentarzowa

Table 4

Example of inventory table

WEJŚCIA		
Wejścia z technosfery (materiały paliwa)	**Wartość**	**Jednostka**
złom akumulatorowy	25 000	Mg
soda kalcynowana	18000	Mg
Wejścia z technosfery (energia elektryczna, ciepło)	**Wartość**	**Jednostka**
gaz	1 200 200	m^3
energia elektryczna	700	MW
WYJŚCIA		
Emisje do powietrza	**Wartość**	**Jednostka**
Zn	0,5	kg
HCl, H_2S, H_2SO_4	5503	kg
CO_2	2475	Mg
SO_2	80	kg
Pb	1,0	kg
Cu, Sb	0,10	kg
Se	0,20	kg
pyły ze spalania	23,30	kg
pyły pozostałe	8	kg
CO	502	kg
NO_2	2182	kg
Emisje do gleby	**Wartość**	**Jednostka**
Produkty odpadowe	1500	kg
Wyjścia do technosfery	**Wartość**	**Jednostka**
pasta odsiarczona	18000	Mg
frakcja metaliczna	7600	Mg
siarczan sodu	2000	Mg
PP	1500	Mg

Źródło: Opracowanie własne

W 2009 r. zakład recyklingu był czynny 5 dni w tygodniu, w systemie dwu/trzyzmianowym, w zależności od rodzaju obsługiwanego procesu jednostkowego. Zakład posiada całkowitą zdolność przerobową dla złomu akumulatorowego w granicach od 35500 do 46800 Mg.

Tworzywa sztuczne są częściowo odzyskiwane: mieszanka polipropylenu (PP), polietylenu (PE), poliestrów, metali, w tym miedzi, ołowiu, itp., polichlorek winylu (PVC) i ebonit. Polipropylen jest wysyłany do odrębnego zakładu przetwarzania, zajmującego się granulacją odpadowych tworzyw sztucznych Przyjęto, że jest on odzyskiwany ze złomu akumulatorowego w 100% i przekazywany do firm zewnętrznych, a więc jest traktowany jako produkt finalny i handlowy. Inne tworzywa sztuczne są przesyłane na składowisko (PE, ebonit, PVC).

W analizach nie uwzględniono etapu produkcji materiałów pomocniczych: ponieważ nie uzyskano danych, bezpośrednio lub z dostępnych bazy danych.

Informacje odnośnie pochodzenia innych danych, istotnych dla pracy instalacji:

- dla etapów kruszenia i odsiarczania - produkcja elektryczności – informacje pochodzą z bazy Ecoinvent, dostępne dla warunków polskich,
- dla fazy przetopu: produkcja energii elektrycznej - dane pochodzą z bazy danych Ecoinvent, charakterystyczne dla warunków polskich,
- dla etapu transportu: brak danych ponieważ, nie było możliwe zebranie wystarczających informacji,
- dla etapu zagospodarowania odpadów: pominięte (uniknięte) oddziaływania ze względu na odzysk PP, wykorzystanie kwasu siarkowego do produkcji siarczanu sodu: tak jak opisane wcześniej. Wszystkie dane pochodzą z bazy danych Ecoinvent.

Zgodnie z normą ISO 14041, uniknięto alokacji danych.

Faza oceny wpływu – ocena oddziaływań

Ocena oddziaływań jest trzecim obowiązkowym etapem metody LCA, który umożliwia ocenę wyników przeprowadzonej analizy w celu pełniejszego zrozumienia ich znaczenia. W niniejszej pracy do oceny wpływów technologii recyklingu zużytych akumulatorów kwasowo-ołowiowych wykorzystano metodę ReCiPe.

Interpretacja cyklu życia

Aby zobrazować wpływ technologii recyklingu zużytych akumulatorów kwasowo-ołowiowych na środowisko, wybrano kilka, najważniejszych z punktu widzenia celu analizy kategorii wpływu. Będą to:

Emisje, które potencjalnie wpływają niekorzystnie na środowisko są:

- **zużycie paliw kopalnych** - wyczerpywanie zasobów gazu ziemnego, ropy naftowej oraz węgla kamiennego
- **zmiany klimatu** - ma miejsce emisja dwutlenku węgla (CO_2) i azotu (NO_2), związki wpływające na wzrost globalnego ocieplenia, związki są emitowane podczas procesów: przetopu pasty ołowiowej oraz produkcji siarczanu sodowego,
- **tworzenie cząstek stałych** pyły, tlenki siarki (SO_x), tlenki azotu (NO_x), tlenek węgla (CO). Z tego względu, że wśród emisji związanych z analizowaną technologią, występują wszystkie z wymienionych grup związków, kategoria została uwzględniona w analizie ekobilansowej.
- **toksyczność** - jest to grupa niekorzystnych oddziaływań na organizmy żywe na skutek ich kontaktu z substancjami chemicznymi, emitowanymi do powietrza, wody i gleby. Ponieważ technologia recyklingu akumulatorów, niesie za sobą niebezpieczeństwo

emisji związków metali ciężkich do środowiska, uwzględniono tę kategorię w analizie ekobilansowej.

Prawidłowe przeprowadzenie analizy środowiskowej zgodnie z wytycznymi LCA, wymaga przygotowania szczegółowych danych. Podstawą do przeprowadzenia badań niezbędnych do realizacji założonego celu pracy będą ilościowe dane określające masę i rodzaj surowców, produktów, odpadów i emisji pozyskanych z 1 Mg złomu akumulatorowego czyli z około 110 sztuk akumulatorów samochodowych. Kolejne dane potrzebne do uzyskania wspomnianego celu dotyczą przebiegu technologii recyklingu, podzielonego na dwa procesy, powiązane ze sobą przepływami materiałów, mediów i emisji.

Na podstawie danych inwentaryzacyjnych oraz przyjętych założeń określono skład materiałowy 1 Mg złomu akumulatorowego, który przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5

Skład procentowy zużytych akumulatorów kwasowo-ołowiowych

Table 5

The percentage composition of disused lead-acid batteries

Lp.	substancje	zawartość [%]
1.	pasta nieodsiarczona:	48
2.	ołów metaliczny	25
3.	elektrolit	18
4.	tworzywa sztuczne (PCV i ebonit)	4
5.	inne (papier, włókna, złom Fe)	0,1
6.	polipropylen	4,9
7.	Suma	100

Źródło: Opracowanie własne

W analizie nie uwzględniono obciążenia środowiskowego, konsekwencji transportu akumulatorów do przedsiębiorstwa prowadzącego recykling oraz transportu uzyskanych produktów oraz odpadów. Trudności w pozyskaniu odpowiednich danych wynikają przede wszystkim z faktu, iż przedsiębiorstwa zajmujące się tego typu działalnością, starają się chronić dane, będące często danymi wrażliwymi, interesującymi dla konkurencji.

4. Wyniki analizy ekobilansowej

Z przeprowadzonej analizy wynika, że proces recyklingu zużytych akumulatorów kwasowo-ołowiowych wraz ze wszystkimi zidentyfikowanymi procesami dodatkowymi, przynosi korzyści środowiskowe na poziomie **(-30,7281)** Pt. Zauważono znaczącą przewagę korzyści w kategorii zużycia paliw kopalnych **(-19,4659)** Pt, wynikającą z ograniczenia ich wydobycia, w stosunku do poziomu zidentyfikowanych korzyści związanych z ograniczeniem eksploatacji surowców metalicznych, kształtujących się na niskim poziomie **(-0,0115)** Pt (tabela 6).

Tabela 6

Wartości kategorii wpływu recyklingu 1Mg zużytych akumulatorów kwasowo-ołowiowych w ujęciu kategorii oddziaływań charakterystycznych dla metody ReCiPe [Pt]

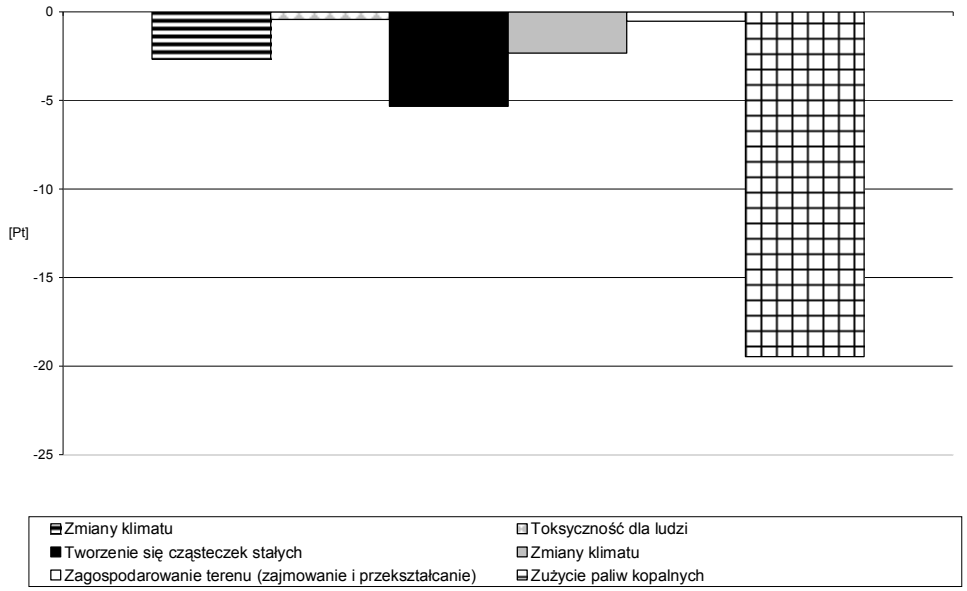
Table 6

The effect of the recycling process carried out for 1 ton of disused lead–acid rechargeable batteries in the impact categories typical for the ReCiPe method [Pt]

Kategoria wpływu	**2009 r.**
promieniowanie jonizujące	-0,0008
toksyczność dla ludzi	**-0,2810**
tworzenie się cząstek stałych	**-5,3359**
tworzenie się fotochemicznych utleniaczy	-0,0009
zmiany klimatu	**-2,3303**
zubożenie warstwy ozonowej	-0,0119
ekotoksyczność dla wód i lądowa	-0,0066
eutrofizacja	-0,0018
zagospodarowanie terenu (zajmowanie oraz przekształcanie)	**-0,5319**
zakwaszenie	-0,0791
zmiany klimatu	**-2,6705**
zużycie paliw kopalnych	**-19,4659**
zużycie surowców metalicznych	-0,0115
suma (Pt)	**-30,7281**

Źródło: Obliczenia własne z wykorzystaniem SimaPro 7.3.3. oraz ReCiPe

Poziom korzyści środowiskowych zidentyfikowanych dla procesu recyklingu zużytych akumulatorów kwasowo-ołowiowych osiągnięto w kategoriach związanych z oddziaływaniami na zużycie zasobów - zużycie paliw kopalnych **(-19,4659)** Pt oraz zagospodarowywanie terenu **(-0,5318)** Pt (rysunek 3 oraz tabela 6).

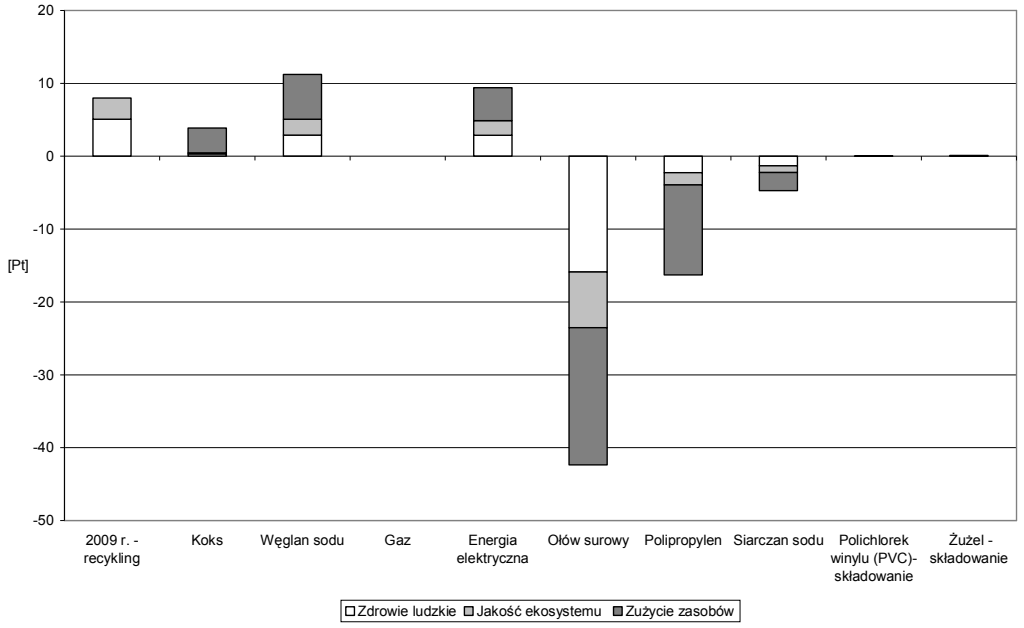


Rys. 3. Wybrane kategorie wpływu w procesie recyklingu zużytych akumulatorów kwasowo-ołowiowych

Fig. 3 The selected impact categories for disused lead-acid batteries recycling process

Na podstawie uzyskanych wyników analiz stwierdzono, że w grupie oddziaływań związanych ze zużyciem zasobów, przeważają korzyści środowiskowe związane z ograniczeniem paliw kopalnych nad korzyściami związanymi z ograniczeniem zapotrzebowania na wydobywane zasobów metalicznych **(-0,0115)** Pt.

Z wyników zaprezentowanych w tabeli 7 wynika, że technologia recyklingu zużytych akumulatorów kwasowo-ołowiowych generuje najwyższe korzyści środowiskowe w kategoriach związanych ze zużyciem zasobów **(-27,1160)** Pt, co stanowi 67% wszystkich wpływów. Natomiast poziom korzyści środowiskowych zidentyfikowanych w kategoriach wpływu jakość ekosystemów osiąga wartość 2% wszystkich analizowanych procesów.



Rys. 4. Wpływ procesu recyklingu 1 Mg zużytych akumulatorów kwasowo-ołowiowych w ujęciu trzech kategorii szkody, charakterystycznych dla metody ReCiPe

Fig. 4. The effect of the recycling process carried out for 1 ton of disused lead–acid rechargeable batteries in three damage categories typical for the ReCiPe method [Pt]

Z rezultatów przedstawionych na rysunku 4 wynika, że procesy związane z powtórnym zagospodarowaniem odpadów pochodzących ze zużytych akumulatorów kwasowo-ołowiowych generują korzyści środowiskowe we wszystkich kategoriach tj. zdrowie ludzkie, jakość ekosystemu oraz zużycie zasobów.

Szkody środowiskowe zostały zidentyfikowane dla procesów związanych ze zużyciem mediów, niezbędnych do pracy instalacji oraz z zastosowanych dodatków do procesów (węglan sodu oraz koksik).

W wyniku przeprowadzonych analiz, stwierdzono, że w procesie recyklingu zużytych akumulatorów kwasowo-ołowiowych wysoki poziom korzyści środowiskowych zidentyfikowany jest dla procesu zagospodarowania **pasty ołowiowej** oraz wykorzystania jej do produkcji **ołowiu surowego**. Proces ten w istotny sposób wpływa na poziom

korzyści środowiskowych charakterystycznych dla kategorii zużycia zasobów. Należy zwrócić uwagę, iż różna jest relacja pomiędzy poziomami osiągniętymi ramach kategorii oddziaływań w zależności od rodzaju rozpatrywanego materiału. Proces zagospodarowania pasty ołowiowej i tworzyw sztucznych przynosi najwyższy poziom korzyści środowiskowych w kategoriach związanych z zużyciem zasobów, co może być związane przede wszystkim z możliwości powtórnego wykorzystania materiałów i uniknięciem produkcji pierwotnej. Podobną relację można zauważyć dla produkcji siarczanu sodu, gdzie najwyższy poziom korzyści środowiskowych został zidentyfikowany również dla kategorii związanych z zużyciem zasobów, stanowiących około 62% sumarycznego oddziaływania 3 kategorii wpływu dla tego procesu. Z rezultatów analizy można wywnioskować, że powtórne wykorzystanie substancji i materiałów pochodzących ze zużytych akumulatorów przyczynia się do ograniczenia zapotrzebowania na surowce pierwotne.

Tabela 7

Wartości trzech kategorii szkód charakterystycznych dla metody ReCiPe

Table 7

The values of the three damage categories typical for the ReCiPe method

Proces	**Zdrowie ludzkie [Pt]**	**Jakość ekosystemu [Pt]**	**Zużycie zasobów [Pt]**
2009 r. – recykling 1 tony złomu akumulatorowego	7,6329	0,5987	0,0000
koks	0,4612	0,0330	4,7324
węglan sodu	4,3564	0,4465	8,5770
gaz	0,0011	0,0001	0,0179
energia elektryczna	4,3230	0,4116	6,2934
produkcja ołowiu wtórnego	**-23,9530**	**-1,5630**	**-26,2335**
produkcja polipropylenu	**-3,4103**	-0,3434	**-17,2320**
produkcja siarczanu sodu	-1,9736	-0,1873	-3,4648
polichlorek winylu – składowanie	0,0132	0,0001	0,0378
żużel – składowanie	0,0388	0,0003	0,1107
suma	**-12,5103**	**-0,6034**	**-27,1611**

Źródło: Obliczenia własne z wykorzystaniem SimaPro 7.3.3. oraz ReCiPe

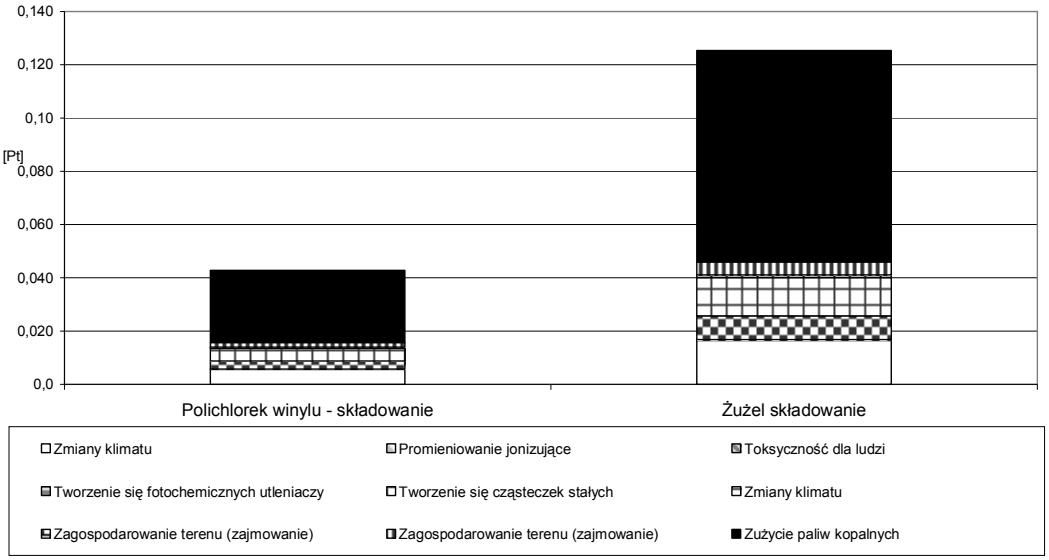
W tabeli 7 zestawiono wyniki analizy ekobilansowej w ujęciu trzech kategorii szkód, charakterystycznych dla metody ReCiPe. Istotne jest, że sumaryczny wpływ korzyści środowiskowych związanych ze zdrowiem ludzkim kształtuje się na poziomie **(-12,51)** Pt co stanowi 31% wszystkich określonych wpływów środowiskowych przeanalizowanych dla okresu objętego ekobilansem. Poziom oddziaływań dla kategorii związanych z jakością ekosystemu, kształtuje się na poziomie **(-0,60)** Pt. Podobnie jak w kategorii oddziaływań związanych ze zdrowiem ludzkim, również w grupie oddziaływań związanych ze zużyciem zasobów, korzyści środowiskowe będą wynikać z ograniczenia emisji substancji szkodliwych, uzyskanych w efekcie wykorzystaniu surowców wtórnych w procesach produkcyjnych. Korzyści zidentyfikowane w kategorii wykorzystania terenu, wynikają z ograniczenia eksploatacji środowiska w aspekcie pozyskiwania surowców pierwotnych oraz z ograniczenia zapotrzebowania na powierzchnię terenu niezbędną do wykorzystania

pod składowiska odpadów. Działania związane ze zachowaniem zasobów naturalnych stanowią 67 % wszystkich zidentyfikowanych wpływów środowiskowych.

Sumaryczne obciążenie środowiska oszacowane dla technologii recyklingu 1 Mg zużytych akumulatorów kwasowo-ołowiowych wynosi **(-30,7281)** Pt. Wynik ujemny wskazuje na korzyści środowiskowe, które wynikają z tzw. unikniętych emisji. Oznacza to, że dzięki wykorzystaniu odzyskanego ołowiu do produkcji ołowiu surowego, wykorzystania polipropylenu z obudów akumulatorów jako granulatu tj, produktu bazowego do produkcji czy produkcja siarczanu sodu umożliwiają zagospodarowanie potencjalnie szkodliwych elementów akumulatora. Pomimo składowania polichlorku winylu czy niewykorzystaniu żużla procesy korzystnie wpływające na środowisko przewyższają te generujące szkody środowiskowe.

Poziom sumarycznych szkód środowiskowych związanych ze składowaniem na wysypisku odpadów osiąga wartości: dla polichlorku winylu **(0,0464)** Pt, natomiast składowanie żużla, który jest odpadem z procesu przetopu pasty ołowiowej osiąga wartości **(0,1276)** Pt.

W kategoriach oddziaływań zidentyfikowano jedynie szkody środowiskowe we wszystkich kategoriach wpływu. Z rezultatów przedstawionych na rysunku 5 wynika, że w procesie składowania odpadów, nie można zidentyfikować korzyści środowiskowych.



Rys. 5. Porównanie wpływu zagospodarowania wybranych odpadów na środowisko w ujęciu wybranych kategorii oddziaływań charakterystycznych dla metody ReCiPe.

Fig. 5. Comparing the effect of selected waste utilisation on the environment in terms of selected impact categories characteristic for the ReCiPe method.

Najwyższy poziom negatywnego oddziaływania na środowisko uzyskano dla kategorii zużycie paliw kopalnych **(0,1065)** Pt zarówno dla polichlorku winylu jak i żużla, co stanowi 74 % wszystkich negatywnych wpływów. Uzyskany wynik analiz może być spowodowany brakiem gospodarczego wykorzystania odpadów oraz koniecznością pozyskania surowców pierwotnych do ich produkcji.

Podsumowanie

W efekcie przeprowadzonej analizy ekobilansowej określono poziom oddziaływań środowiskowych zidentyfikowanych dla technologii recyklingu zużytych samochodowych akumulatorów kwasowo-ołowiowych. Wszystkie wyniki zostały przedstawione w odniesieniu do przyjętej jednostki funkcjonalnej - 1 Mg zużytych akumulatorów kwasowo-ołowiowych poddanych procesowi recyklingu, zgodnie z przyjętymi założeniami badań. Wyniki analizy zostały przedstawione w punktach środowiskowych, co daje możliwość ich porównania w celu wskazania procesów i działań w stopniu większym lub mniejszym wpływającym na środowisko. Przeprowadzenie badań ekobilansowych rzeczywistego procesu zagospodarowania akumulatorów, w oparciu o dane dotyczące zużycia surowców, mediów, emisji oraz odpadów, pozwoliły określić poziom generowanych obciążeń środowiska. W ramach realizowanych badań analiza ekobilansowa przeprowadzona została zgodnie z wytycznymi metody LCA. Narzędziem służącym do przeprowadzenia obliczeń jest program SimaPro w wersji 7.3.3., wykorzystujący najnowszą bazę danych Ecoinvent 2.0. Analizy przeprowadzono w oparciu o procedurę ReCiPe, (18 kategorii oddziaływań środowiskowych, ujętych w 3 grupach – kategoriach szkód).

Przeprowadzona analiza jest analizą uproszczoną, co istotne, opartą na rzeczywistych danych dotyczących wielkości nakładów energetyczno – materiałowych oraz mediów potrzebnych do prowadzenia instalacji recyklingu.

Masa surowców możliwych do pozyskania ze zużytych akumulatorów została określona na podstawie ogólnie dostępnych danych w zakresie procentowego udziału poszczególnych frakcji odpadów odzyskiwanych w procesie recyklingu akumulatorów w przedsiębiorstwie XX.

Na skutek rozmów ze specjalistami z branży metalurgicznej, za złom akumulatorowy autorzy przyjmują w 100% złom pochodzący ze zużytych akumulatorów kwasowo-ołowiowych, będących wyposażeniem samochodów osobowych, ponieważ w czasie objętym analizą, ten rodzaj złomu można uznać za dominujący w strumieniu odpadów.

Na podstawie przeprowadzonych badań wywnioskowano:

1. Sumaryczny poziom korzyści środowiskowych osiągniętych w procesie recyklingu 1 Mg zużytych akumulatorów kwasowo-ołowiowych przynosi korzyści środowiskowe na poziomie **(-30,7281)** Pt w 2009 roku.
2. Z uwagi, na fakt, że znaczna część potencjalnych odpadów (polipropylen, kwas siarkowy) wykorzystywana jest do produkcji nowych materiałów handlowych (uniknięta produkcja), poziom korzyści środowiskowych będących efektem wykorzystania surowców wtórnych kształtuje się na poziomie:

- dla produkcji ołowiu z surowców wtórnych **(-51,7495)** Pt,
- dla polipropylenu **(-20,9857)** Pt,
- siarczanu sodu **(-5,6257)** Pt, w 2009 roku.

Na skutek przeprowadzonej analizy, autorzy zauważyli znaczącą przewagę korzyści w kategorii zużycia paliw kopalnych **(-19,4659)** Pt, wynikającą z ograniczenia ich wydobycia, w stosunku do poziomu zidentyfikowanych korzyści związanych z ograniczeniem zużycia surowców metalicznych i kształtujących się na poziomie **(-0,0115)** Pt.

LITERATURA:

1. Filip A. Samson-Bręk I., Miejsce oceny cyklu życia w systemie zarządzania środowiskowego, Studia Ecologiae et Bioethicae UKSW 9(2011)4 s. 65-77
2. Goedkoop M., Spriensma R., Eco-indicator 99. Methodology report, Pré Consultants, Amersfoort, The Netherlands, 22 June 2000
3. Górzyński J. Podstawy analizy środowiskowej wyrobów i obiektów, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2007, s.28
4. http://www.pre.nl/content/databases
5. Kłos Z., Kasprzak J., Rola ekobilansowania w kształtowaniu maszyn, urządzeń i systemów, Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej, nr 6, Poznań 2007
6. Kłos Z., Kurczewski P., Kasprzak J., Środowiskowe charakteryzowanie maszyn i urządzeń. Podstawy ekologiczne, metody i przykłady, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2005
7. Kłos Z, Laskowski G., Metody ekobilansowe w zarządzaniu środowiskiem, materiały V konferencji TQM „Elementy i ich integracja", Boszkowo, 21-24 kwietnia 1998 r.
8. Kowalski Z., Kulczycka J., Góralczyk M., Ekologiczna ocena cyklu życia procesów wytwórczych (LCA), PWN, Warszawa 2007
9. Kulczycka J., Ekologiczna ocena cyklu życia procesów wytwórczych (LCA), Warszawa 2007
10. PN–EN ISO 14040:2009 Zarządzanie środowiskowe - Ocena cyklu życia –Zasady i struktura
11. PN-EN ISO 14044:2009 Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia Wymagania i wytyczne
12. PN-EN ISO 14050:2010 Zarządzanie środowiskowe – Terminologia, PKN, Warszawa 2010
13. PKN ISO/TR 14047:2006 Zarządzanie środowiskowe – Ocena wpływu cyklu życia Przykłady stosowania ISO 14042
14. Romańska M. Cykl Życia Produktu Odpady i środowisko nr 4(64)10 s. 88